心理学报 2022, Vol. 54, No. 5, 453−465
Acta Psychologica Sinica

https://doi.org/10.3724/SP.J.1041.2022.00453

图词间隔时间影响口语词汇产生中语义效应的机制：图词干扰范式研究

周雨汐[†] 刘宇颢[†] 张清芳
(中国人民大学心理学系，北京 100872)

摘 要 口语词汇产生过程中存在语义抑制和语义促进效应，可能发生在概念准备和词汇选择或者后词汇水平阶段。本研究采用图画−词汇干扰实验任务，变化图画与词汇出现点之间的时间间隔(stimulus onset asynchrony, SOA)，运用脑电技术考察口语词汇产生中语义效应发生的时间进程。结果显示，当 SOA 为 0 ms 时表现出语义抑制效应，语义效应发生在词汇选择阶段(344~418 ms)；当SOA为−400 ms时，语义效应发生在概念准备阶段(0~76 ms)和词汇选择阶段(274~390 ms); 460~594 ms 时间窗口内的语义效应可能表明讲话者对语义信息的自我监测。词汇产生中存在语义促进效应和抑制效应的权衡，影响了行为结果中语义效应的方向，上述发现支持了口语词汇产生的词汇竞争假说。

关键词 口语词汇产生，语义抑制效应，语义促进效应，SOA，词汇竞争假设
分类号 B842

1 前言

口语产生包括概念准备、词汇选择、音韵编码、语音编码、发音和自我监控等一系列加工阶段(Levelt et al., 1999)。图画−词汇干扰实验任务(picture-word interference task, PWI)是用于探测口语词汇产生机制的典型任务，这一任务中会呈现目标图画和一个干扰词，要求被试忽略干扰词，说出图画名称(Glaser & Düngelhoff, 1984; La Heij, 1988; Lupker, 1979; Roelofs, 1992; Schriefers et al., 1990)。实验中变化干扰词和目标图画名称之间的语义相关关系，考察图画命名过程中的语义效应，通过语义效应考察口语词汇产生过程中概念准备和词汇选择两个阶段的认知机制。已有研究发现与目标词存在范畴语义相关关系的干扰词(例如“老虎”)，与无关干扰词相比(例如“钢笔”)，显著地延长了目标图画命名(例如“豹子”)的反应时，称之为语义抑制效应(semantic interference effect)。基于此现象，研究者提出了词汇竞争假设，认为目标词汇的选择不仅与目标词汇本身的激活有关，而且与其竞争词汇的激活相关。如果竞争词汇的激活程度越高，那么对目标词汇的选择反应时则越长，语义抑制效应发生在口语词汇产生中的词汇选择阶段(Starreveld & La Heij, 1996; Levelt et al., 1999)。

然而，有研究发现了与语义抑制效应不同的结果，对词汇竞争说提出了质疑。Finkbeiner 和 Caramazza (2006)的研究利用完全相同的实验材料，两组被试分别完成经典的 PWI 任务和掩蔽的 PWI 任务。在掩蔽的 PWI 任务中干扰词呈现的时间非常短暂，并用后掩蔽刺激掩蔽干扰词，在此范式中研究者发现了语义促进效应，而用同一组干扰刺激，在经典的 PWI 任务中研究者发现的是语义抑制效应。词汇竞争假说难以解释为什么同一组干扰词在掩蔽 PWI 中会出现语义促进效应。Finkbeiner 和

收稿日期: 2021-04-12
* 国家自然科学基金面上项目(31271055)、教育部人文社科规划项目(21YJA190011)和国家语委重点项目(ZDI145-6)资助。
† 周雨汐和刘宇颢为共同第一作者。
通信作者：张清芳, E-mail: qingfang.zhang@ruc.edu.cn

Caramazza (2006)认为语义促进效应发生在口语词汇的概念准备阶段，而语义抑制效应发生在后词汇水平的反应排除阶段，提出了反应排除假说(response exclusion hypothesis)。这一假说的主要观点是在口语词汇的反应输出阶段，干扰词比目标图画加工更快，会首先进入反应输出缓冲器；要想产出目标词必须先将缓冲器中的干扰词排除出去；与无关干扰词相比，语义相关的干扰词更难排除出去，因而产生了语义抑制效应(Mahon et al., 2007)，排除无关干扰的时间长短与“反应的相关性” (response relevance)有关。

PWI 任务中所发现的无关干扰词词频效应为反应排除说的观点提供了支持证据(Miozzo & Caramazza, 2003; Dhooge & Hartsuiker, 2010)，这一效应表现为：当干扰词与目标词不存在任何语义、正字法或音韵关系时，干扰词为高频词时的图画命名反应时快于低频干扰词。而根据词汇竞争说，高频干扰词的激活程度高于低频词，因此前者应该对目标图画的命名产生更大的干扰，但结果却与此相反。在 PWI 任务中，讲话者首先要抑制干扰词，因此干扰词如何被快速地抑制是影响图画命名时间的重要因素。高频词的再认和加工快于低频词，在反应输出阶段对低频干扰词的抑制慢于高频干扰词，因而产生了干扰词频效应。Janssen 等(2008)采用 PWI 和延时命名任务的结合，要求被试在图画呈现时不要立即命名，而是在提示线索出现后才说出图画名称，即在出声命名时讲话者已经完成了词汇水平提取。研究发现在延时命名中出现了语义抑制效应，这表明该效应发生在词汇提取之后的反应输出阶段，而非词汇提取阶段。Dhooge 等(2013)采用高时间分辨率的脑电技术，进一步发现干扰词频效应发生在图画呈现后的 420~500 ms 和 500~580 ms 之间，位于反应输出阶段，为反应排除说提供了时间进程上的证据。反应排除假说认为语义抑制效应和干扰词频效应都发生在反应输出阶段，那么干扰词词频和干扰词的语义相关性之间应该存在交互作用。但是，Miozzo 和 Caramazza (2003)进一步考察了无关干扰词的词频与语义相关性之间的交互作用，却发现语义抑制效应和干扰词频效应的时间进程不同，两类变量之间不存在交互作用，这表明这两类效应可能具有不同的认知机制，本研究仅关注语义效应的认知机制。

语义促进效应出现在概念水平的假设得到了很多研究发现的支持。Bloem 和 La Heij (2003)在荷兰语−英语双语被试中，采用单词翻译任务，呈现荷兰语线索词(或线索图画，图画名称即为线索词)和英语目标词，要求被试将英语目标词翻译成荷兰语；线索词(或线索图画)和目标词之间有语义相关和无关两种条件。研究发现为英语目标词提供的线索为单词时，产生了语义抑制效应，而线索为图画时，产生了语义促进效应。在词汇竞争假说的理论框架下，即使线索为图画时也会在词汇水平上产生激活，同时目标词的概念也会将激活传递至词汇水平，与无关图画线索相比，当线索图画与目标概念存在语义相关时应产生语义抑制效应而非实验中观察到的语义促进效应。为了解释这一发现，Bloem 和 La Heij (2003)对词汇竞争假说进行了修正：第一，在口语词汇产生的概念加工水平存在一个阈限机制，只有当概念的激活水平高于此阈限，才会被选择进入词汇化阶段。也就是说，研究者认为尽管线索图画在概念水平存在激活，但不会引起词汇水平的竞争。第二，目标概念不仅会将激活传递至词汇选择水平，而且会传递至语义相关的线索词，语义相关线索词与无关线索词相比即会产生语义抑制效应。

研究者采用事件相关电位(event-related potential, ERP)技术对口语词汇产生中语义效应出现的时间进程进行考察，词汇竞争说认为语义抑制效应发生在词汇选择阶段，而反应排除说认为该效应发生在反应输出阶段。口语词汇产生过程的元分析发现词汇选择阶段发生在图画呈现之后的 175 ms 左右，而反应输出阶段发生在 400 ms 之后(Indefrey & Levelt, 2004; Indefrey, 2011)。因此通过对语义效应时间进程的考察可以更为精细地区分两类假说。已有 ERP 研究发现语义抑制效应出现在连续命名任务中图画呈现后的 250~400 ms 之间(Rose & Abdel Rahman, 2017)或 200~380 ms 之间(Costa et al., 2009)，在语义组块范式中出现在图画呈现后的 250~300 ms 或者是 PWI 任务中出现在 250~370 ms 之间(Piai et al., 2012)，亦有研究发现语义抑制效应的起始点是 320 ms 左右(Dell’Acqua et al., 2010)。汉语中所发现的语义抑制效应的时间窗与印欧语言中的类似，在 PWI 任务中出现在图画呈现后的 250~450 ms (Zhu et al., 2015)、200~400 ms (Ouyang et al., 2019)或 275~400 ms 的时间窗内(Wong et al, 2017)，在语义组块范式下出现在图画呈现后的 180~380 ms 时间窗(Feng et al., 2021)。上述研究表明语义抑制效应发生在词汇水平，为词汇竞争说提

供了有力的支持证据。但是，也有研究采用语义组块范式，发现语义抑制效应出现在图画呈现后的500~750 ms 之间(Janssen et al., 2015)，为反应排除假说提供了支持证据，与词汇竞争说的观点矛盾。相比来说，研究者对语义促进效应时间进程的研究较少。Ouyang 等(2019)考察了词汇群大小对概念水平激活的影响，发现了一个出现在较早 100~200 ms 时间窗口的显著差异波，该时间窗口处于概念准备阶段(Indefrey & Levelt, 2004; Indefrey, 2011)，而且大小词汇群的命名反应时差异指标与该时间窗口内平均波幅的差异之间呈现负相关，表明这一时间窗口内的波幅差异确实与大小词汇群所引起的概念激活有关。

在单词翻译任务中，研究者进一步操纵了线索词(或线索图画)和目标词之间的时间间隔(stimulus onset asynchrony, SOA)，发现当线索词晚于目标词 200 ms 呈现时，出现了语义抑制效应，但当线索词先于目标词 400 ms 呈现时，语义效应出现了反转，表现出促进效应(Bloem et al., 2004)。Bloem 等(2004)认为概念水平的阈限机制在语义促进效应的产生中起了关键作用。当线索词先于目标词呈现时，概念激活会被激活且持续存在，词汇也会被激活但很快会降低至基线水平，因而产生语义促进效应；当线索词晚于目标词呈现时，其竞争发生在词汇水平，且线索词的词汇水平激活尚未降低至基线水平。这是一个单词翻译任务，在认知加工系统中涉及到两种语言，与单语的口语产生过程可能不同。

采用 PWI 任务，在单语的口语产生任务中，研究发现操纵图画和干扰词呈现点之间的时间间隔(stimulus onset asynchronous, SOA)会产生不同方向的语义效应。Zhang 等(2016)在汉语中操纵图画和干扰词呈现点之间的 SOA，在基本的概念水平上操纵干扰词和目标图之间的关系，发现与无关干扰词相比，当语义干扰词先于图画 1000 ms 至 400 ms 呈现时，图画命名的反应时表现出语义促进效应(类似的结果见 La Heij et al., 1990; Python et al., 2018)，而当干扰词先于图画 100 ms 或者同时出现时，表现出语义抑制效应(类似的结果见 Schriefers et al., 1990; Glaser & Düngelhoff, 1984; Starreveld & La Heij, 1996; Roelofs, 1992; Sailor et al., 2009)，研究结果为语义促进效应和抑制效应分别出现在概念水平和词汇水平提供了支持证据。Bürki 等(2020)采用元回归的方法对已有采用 PWI 任务出现语义效应的文献进行了综合分析，结果表明当 SOA 为 0 ms 或较小(±160 ms)时，一般都会出现语义抑制效应；当 SOA 增大时，抑制效应会减弱，行为指标上出现的语义促进或抑制效应依赖于概念水平和词汇水平两个阶段效应的平衡。行为指标反映的是各个阶段综合后的最后结果，并不能即时地反映语义相关条件在概念准备和词汇选择两个阶段的加工，以及两个阶段可能存在权衡。Bürki 等(2020)的研究中指出目前对于负 SOA 增大时语义效应方向变化的研究证据较少，不足以充分说明该现象的稳定性，且发生机制尚不明确。高时间分辨率的脑电技术有利于探索概念准备和词汇选择中的即时加工过程，能进一步明确口语词汇产生中语义抑制效应和语义促进效应的发生机制。

在口语词汇产生的 ERP 研究中，所使用的目标刺激为图片，且要匹配各个干扰条件之间的各项指标，符合要求的刺激数较少。为了得到稳定的波形，满足各个条件叠加次数的要求，研究中经常会重复呈现干扰词和目标图画这一刺激对(e.g. Miozzo & Caramazza, 2003; Rose & Rahman, 2017; Zhang et al., 2016; Zhu et al., 2015)。已有研究发现语义效应的大小会受到重复次数的影响。Stroop (1935)发现在颜色命名任务中，颜色干扰词的语义抑制效应会随练习减弱。Lupker (1979)的研究中发现当第二次呈现相同图词刺激时，语义抑制效应减弱了。Miozzo 和 Caramazza (2003)的研究中每个语义相关图词对随机重复呈现 5 次，结果发现在五次呈现中语义抑制效应都是显著的，但随着呈现次数的增加，语义抑制效应的效应量显著减小，分别为 69 ms、51 ms、27 ms、19 ms 和 23 ms。上述结果表明重复次数影响了语义效应的大小。在口语词汇产生中，语义效应可能来自三个阶段：概念准备、词汇选择(词汇竞争说)或反应输出阶段(反应排除说)，目前尚未有研究考察重复次数及其与其他变量之间的交互作用如何影响了口语词汇产生过程，采用高时间分辨率的脑电技术可以细致地考察这一因素影响口语产生过程的认知机制。

综上，本研究采用脑电技术使用 PWI 任务，通过设置−400 ms 和 0 ms 两个 SOA 水平，以及干扰词和目标词之间的语义关系(均位于基本概念范畴，实验材料同 Zhang et al., 2016 的实验 3)，考察汉语口语词汇产生中语义抑制效应和语义促进效应发生的时间进程。根据 Indefrey (2011)在元分析中对图片命名过程时间进程的估计，最初对图片的视觉加工和相应的概念水平加工阶段发生在图片呈现

后的 175 ms 以内，词汇选择阶段会持续至 250~275 ms 左右，音韵编码阶段则会持续至 450 ms 左右，之后则为语音编码和发音阶段。这一时间进程可能会随着任务难度的增加发生变化(Strijkers & Costa, 2011)。根据词汇竞争说和概念选择说，我们预期在 SOA 为 0 ms 时会出现语义抑制效应，其发生的时间进程为词汇选择阶段(200~400 ms)；在 SOA 为−400 ms 时，在行为结果上可能出现语义促进效应，在脑电结果上可能会有两个时间窗口的显著差异波，分别位于概念准备阶段(0~200 ms)和词汇选择阶段(200~400 ms)。根据反应排除假说的观点，我们预期会发现一个早期(0~200 ms)和一个晚期(450 ms 之后)的显著差异波。

2　方法

2.1　被试

45 名来自北京地区高校的大学生自愿参加实验，其中男生 22 名(平均年龄 22.85±2.26 岁)。被试均为汉语母语者，普通话标准，视力或矫正视力正常。实验前阅读知情同意书并签字，实验后获得一定报酬。

2.2　材料

黑白线条图片 42 幅，选自张清芳和杨玉芳(2003)制定的标准图库，与 Zhang 等(2016)的实验材料相同(Zhang et al., 2016)。目标图名称均为双字词，平均词频为 37.65 每百万(《现代汉语通用词表》, 2003)，平均笔画数 15.38。目标图与干扰词均为基本水平概念，分别来自 14 个语义范畴：乐器、水果、工具、服装、家具、交通工具、禽类、蔬菜、武器、玩具、身体器官、饰品、文具、哺乳动物。每一目标图分别与语义相关和无关干扰词相匹配。语义相关干扰词与目标图名称属于同一语义范畴，并且与目标图名称间没有任何语音和字形上的联系(如，目标图“苹果”，语义相关干扰词“桔子”)。无关干扰词是语义相关条件后重新与图画匹配产生的，匹配时避免了干扰词与目标图名称间的语义、语音或正字法相关关系。

2.3　设计

采用 2 (语义相关类型：语义相关，语义无关) × 2 (SOA：−400 ms, 0 ms) × 2 (重复次数：第一次，第二次)的三因素被试内设计。对于每个被试，每张图片在每个语义相关类型和 SOA 条件中呈现，形成了 168 个试次。为了保证每一条件下脑电试次的叠加数量足够，每个被试重复两次测验，两次测验间休息 5 分钟。SOA 分组呈现，每个 SOA 呈现顺序依据拉丁方排列。测试呈现顺序伪随机，从而避免相同目标图或干扰词连续出现。每个被试在每个 SOA 和重复测验中的试次呈现顺序都是不同的。

2.4　仪器

使用 E-Prime (版本 1.1)编写程序，通过 PST-SRBOX 反应盒连接的麦克风与计算机收集反应时数据。主试记录被试反应的正确性。

2.5　程序

被试距离电脑屏幕约 77 cm 完成实验任务，实验分为学习和正式实验两个阶段。在学习阶段，在屏幕中央依次呈现图片及其名称，持续 3000 ms，要求被试记住对应名称，并通过之后测验确保被试能够正确而迅速地说出图片名称。在正式实验阶段的每一试次中，首先屏幕中央将呈现持续 500 ms 的“+”号注视点，500 ms 空屏后将同时或间隔一定时间呈现目标图与干扰词。在 SOA = 0 ms 条件下，同时呈现目标图与语义相关或无关干扰词；在 SOA = −400 ms 条件下，先呈现干扰词，间隔 400 ms 后再呈现目标图(试次流程见图 1)。要求被试尽可能又快又准地说出图片名称。图片大小为 245×240 像素，呈现在屏幕中央。干扰词字体为宋体，字号为 25 号，呈现在图片中央。在被试做出反应时，目标图与干扰词消失，空屏 2000 ms 后开始下一试次。目标图至多呈现 4000 ms。整个实验持续约 50 分钟。

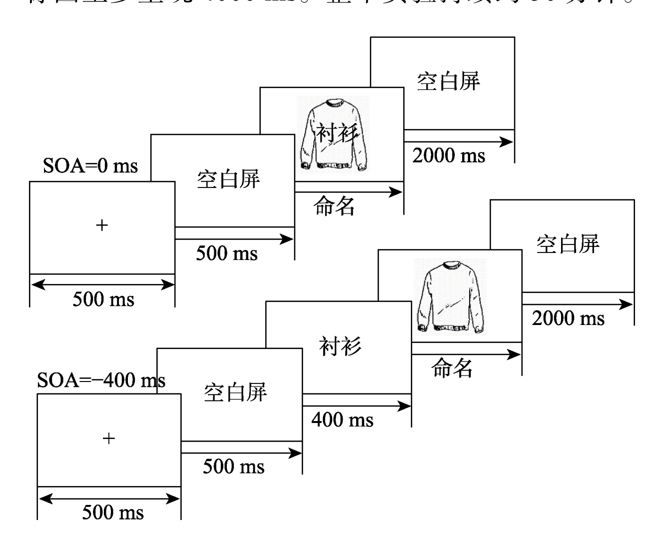


图 1　实验程序流程图

2.6　脑电记录与分析

脑电信号由 Neuroscan 系统进行采集，64 导 Ag-AgCl 电极以国际通用的 10-20 方式固定于电极帽上。在线记录时以左侧乳突为参考电极，之后的离线预处理则以双侧乳突电极进行重参考。位于左

眼上下眶的电极记录垂直眼电(VEOG), 位于左右眼角外 1 cm 处的电极记录水平眼电(HEOG)。电极与头皮之间的阻抗均小于 5 kΩ, 连续记录时滤波带通为 0.05~70 Hz, 采样频率为 500 Hz。

使用Neuroscan软件对记录的EEG数据进行离线预处理, 进行双侧乳突电极的重新参考(Wang et al., 2011; Zhang & Zhu, 2011)。对数据进行 0.1~30 Hz 的带通滤波。SOA 为 0 ms 条件下按照目标图呈现前 200 ms 和呈现后 1000 ms 的时间段对脑电进行分段, 目标图呈现前 200 ms 作为基线进行基线矫正; SOA 为−400 ms 条件下按照目标图呈现前 600 ms 和呈现后 1000 ms 的时间段对脑电进行分段, 干扰词呈现前 200 ms 作为基线进行基线矫正。仅叠加被试正确反应的刺激所引起的 EEG, 删除波幅超过±100 μV 的试次。与行为反应时数据的处理类似, 但为了避免发音时肌肉运动所带来的伪迹, 剔除极端反应时数据(小于 600 ms 或大于 1800 ms)所对应的试次。

考虑到每一次重复下, 每一 SOA 条件的每一干扰词相关类型的目标图仅呈现 42 次, 在进行伪迹校正和行为数据剔除后很难保证叠加满 40 次, 但为了能够通过对比两次重复下的不同 SOA 条件间语义效应的差异, 而不是直接将两次重复的 EEG 信号进行平均处理, 我们使用单试次滤波方法提高 EEG 信号的信噪比, 这一方法可以通过 STEP1 工具包实现(Hu et al., 2010)。将单试次的脑电信号使用连续小波变换分解为时频表征后, 设定阈限为 80%后剔除噪音, 进而再使用时间领域的逆小波变换将时频表征转换回 EEG 信号, 这一过程中同样使用 0.1~30 Hz 的带通滤波, 并仍将 SOA 为 0 ms 条件下图片呈现前 200 ms 和呈现后 800 ms、SOA 为−400 ms 条件下图片呈现前 600 ms 和呈现后 800 ms 对脑电进行分段。

选取左前(F3)、中前(FZ)、右前(F4)、左中(C3)、中中(CZ)、右中(C4)、左后(P3)、中后(PZ)、右后(P4)在内的 9 个兴趣区(regions of interest, ROI)对目标图片呈现后的 600 ms 进行波幅分析。在两个 SOA 条件下分别对在 0~600 ms 内每 100 ms 时间窗的平均波幅进行干扰词语义相关类型和所选取兴趣区的重复测量方差分析, 使用 Greenhouse-Geisser 法校正不符合球形检验统计结果的 p 值, 并在报告事后比较分析结果时采用控制错误发现率校正法对 p 值进行校正(false discovery rate, FDR, Yekutieli & Benjamini, 1999)。

在确定语义相关和无关条件在哪个时间窗以及哪个电极点上存在显著差异时, 我们采用了基于簇的置换检验方法(cluster-based permutation test)对数据进行统计分析, 这能够有效地对多重比较下的 p 值进行校正, 使用的是 Fieldtrip 工具包(Maris & Oostenveld, 2007)。分别对两次重复下 SOA 为−400 ms 和 SOA 为 0 ms 条件下图片呈现后 0~600 ms 内语义相关和无关条件间数据进行重复测量 t 检验, 将空间和时间上相邻(即电极和采样点相邻)的显著水平达到 0.05 的数据点合并为同一个簇, 并求和每一簇内的 t 值以确定簇水平(cluster level)的统计值, 通过蒙特卡洛法(Monte Carlo method)进行统计显著性检验, 随机抽样 5000 次。不同于传统波幅分析所关注的时间窗内平均波幅, 基于簇的置换检验能得出每一时间点和电极点的波幅差异的显著性。

3　结果

1 名被试由于脑电数据丢失被删除, 数据分析包括了 44 名被试的数据。

3.1　行为结果

删除反应错误、未反应和记录故障如话筒提前反应的数据, 删除命名反应时小于 200 ms 或超过 1800 ms, 以及偏离平均值 3 个标准差以外的数据, 其余数据纳入分析。表 1 所示为两次重复下不同语义相关类型与 SOA 下的反应时平均值与标准差。使用 SPSS 22.0 对图片命名反应时进行重复测量方差分析。在被试分析(F_1)中, 语义相关类型、SOA 和重复次数为被试内因素; 在项目分析(F_2)中, 语义相关类型、SOA 和重复次数为项目内因素。

表 1　不同语义相关类型、SOA 和重复次数下的反应时平均值、标准差与错误率

重复次数	干扰词语义相关类型	SOA = −400 ms 反应时 (ms)	SOA = −400 ms 错误率 (%)	SOA = 0 ms 反应时 (ms)	SOA = 0 ms 错误率 (%)
第一次呈现	语义相关	768 (100)	0.16	833 (99)	0.35
	语义无关	768 (93)	0.35	810 (85)	0.27
第二次呈现	语义相关	740 (87)	0.27	796 (86)	0.22
	语义无关	745 (92)	0.19	782 (89)	0.27

反应时的 ANOVA 分析结果显示, 相关类型的主效应显著, 表现为干扰词语义相关条件下反应时显著长于无关条件, $F_1(1, 43) = 15.53$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.27$; $F_2(1, 41) = 5.04$, $p = 0.03$, $\eta_p^2 = 0.11$; SOA 的主

效应显著，表现为 SOA 为 0 ms 时命名反应时显著长于 SOA 为−400ms, $F_1(1, 43) = 27.71$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.39$; $F_2(1, 41) = 255.25$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.86$; 重复次数的主效应显著，表现为第一次呈现时命名反应时显著长于第二次呈现, $F_1(1, 43) = 37.79$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.47$; $F_2(1, 41) = 114.48$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.74$; 相关类型和 SOA 间交互作用显著, $F_1(1, 43) = 23.31$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.35$; $F_2(1, 41) = 14.01$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.26$; 相关类型和重复次数的交互作用不显著, $F_1(1, 43) = 2.00$, $p = 0.17$; $F_2(1, 41) = 1.92$, $p = 0.17$; SOA 和重复次数的交互作用不显著, $F_1(1, 43) = 0.48$, $p = 0.49$; $F_2(1, 41) = 3.50$, $p = 0.07$; 三个变量之间的三重交互作用不显著, $F_1(1, 43) = 0.19$, $p = 0.66$; $F_2(1, 41) = 0.77$, $p = 0.38$。

进一步简单效应分析发现 SOA 为 0 ms 和 SOA 为−400 ms 时语义效应不同(见图 2)，SOA 为 0 ms 时语义抑制效应显著，语义相关条件下反应时显著长于无关条件, $F_1(1, 43) = 30.87$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.42$; $F_2(1, 41) = 12.07$, $p = 0.001$, $\eta_p^2 = 0.23$; SOA 为−400 ms 时语义效应不显著，语义相关条件下反应时与无关条件相当, $F_1(1, 43) = 1.44$, $p = 0.24$; $F_2(1, 41) = 0.71$, $p = 0.40$。

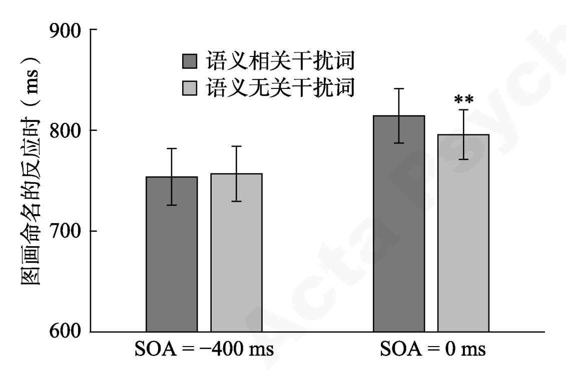


图 2 不同 SOA 下的语义效应

注：图中误差棒为 95% CI, ** 表示 $p < 0.01$

我们使用 R 软件中的 BayesFactor 程序包，计算了 SOA 为−400 ms 和 0 ms 时语义相关类型效应的贝叶斯因子，以验证这一语义效应存在的可能性。根据 Jeffreys (1961)所提出的贝叶斯因子分类标准，当 $1/3 < BF_{10} < 3$ 时说明对应的效应不够稳定，当 $BF_{10} > 3$ 时或 $BF_{10} < 1/3$ 时则说明对应的效应稳定存在或不存在。结果显示，SOA 为 0 ms 时, $BF_{10} = 1.6×10^4$，说明语义效应存在的概率是不存在的 $1.6×10^4$ 倍; SOA 为−400 ms 时, $BF_{10} = 0.04$，说明语义效应不存在的概率是存在的 25.71 倍。

错误率的 ANOVA 分析结果显示，仅相关类型、SOA 和重复次数三个变量之间的三重交互作用显著, $F_1(1, 43) = 4.67$, $p = 0.04$, $\eta_p^2 = 0.10$; $F_2(1, 41) = 4.40$, $p = 0.04$, $\eta_p^2 = 0.10$。进一步简单效应则发现，仅第一次呈现且 SOA 为−400 ms 时语义相关和无关干扰词条件间的错误率存在差异, $F_1(1, 43) = 4.03$, $p = 0.05$, $\eta_p^2 = 0.09$; $F_2(1, 41) = 3.02$, $p = 0.09$, $\eta_p^2 = 0.07$，表现为语义相关条件下错误率边缘显著高于无关条件。

3.2 ERP 结果

针对 ERP 波形，我们首先分时间窗口做经典的重复测量方差分析，然后采用基于簇的置换检验分析更为精确地确定出现差异的时间窗口。

3.2.1 重复测量方差分析

对不同 SOA 水平下图片呈现后的 0~600 ms 内每 100 ms 时间窗的平均波幅进行重复测量方差分析，包括的自变量为：语义相关类型(语义相关，语义无关) × 重复次数(第一次，第二次) × 兴趣区(左前，中前，右前，左中，中中，右中，左后，中后，右后) (结果见表 2)。

在 SOA 为−400 ms 的条件下，在 0~100 ms 的时间窗口内，相关类型和重复次数的交互作用显著，进一步简单效应分析(经过 FDR 校正)发现，语义相关与无关波幅之间的差异在第一次呈现时是显著的, $F(1, 43) = 9.13$, $p = 0.004$, $\eta_p^2 = 0.18$，表现为语义相关条件下平均波幅比无关条件更负。在 200~300 ms 和 300~400 ms 的时间窗口内，相关类型和兴趣区的交互作用显著，进一步简单效应分析(经过 FDR 校正)发现，200~300 ms 时间窗口内所有兴趣区语义相关和无关相比，其差异均不显著(all $ps > 0.1$); 300~400 ms 时间窗口内，语义相关和无关条件相比在多数兴趣区均有显著的差异，表现为语义无关条件下平均波幅比相关条件下更负(见表 3)。在 400~500 ms 时间窗内，语义相关类型的主效应显著，表现为语义无关条件下的平均波幅比无关条件下更正。在 500~600 ms 时间窗内，相关类型和兴趣区的交互作用显著，同样表现为语义无关条件下的平均波幅比无关条件下更正(见表 3)。

在 SOA 为 0 ms 的条件下，在 200~300 ms 和 300~400 ms 时间窗内，语义相关类型的主效应显著或边缘显著，前一时间窗内语义相关条件下平均波幅更正和后一时间窗内语义无关条件下平均波幅更负。其余时间窗内均未发现语义相关类型的主效应及其与兴趣区或重复次数间的交互作用。在 500~600 ms 时间窗内，相关类型的主效应显著，表

表 2　不同 SOA 水平下语义相关类型、重复次数和兴趣区的平均波幅方差分析结果

变异来源 (df_1, df_2)	0~100 ms		100~200 ms		200~300 ms		300~400 ms		400~500 ms		500~600 ms	
	F	η_p^2	F	η_p^2	F	η_p^2	F	η_p^2	F	η_p^2	F	η_p^2
SOA = −400 ms												
相关类型(1, 43)	—	—	—	—	—	—	9.87^{**}	0.19	3.41^{+}	0.07	—	—
重复次数(1, 43)	—	—	—	—	3.79^{+}	0.08	—	—	—	—	—	—
相关类型×兴趣区(8, 344)	—	—	—	—	4.01^{*}	0.09	3.69^{*}	0.08	—	—	6.60^{**}	0.13
重复次数×兴趣区(8, 344)	4.41^{**}	0.09	11.15^{**}	0.21	2.91^{+}	0.06	24.70^{**}	0.37	5.55^{**}	0.11	27.26^{**}	0.39
相关类型×重复次数(1, 43)	5.87^{*}	0.12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
相关类型×重复次数×兴趣区(8, 344)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SOA = 0 ms												
相关类型(1, 43)	—	—	—	—	3.54^{+}	0.08	9.47^{**}	0.18	—	—	4.11^{*}	0.09
重复次数(1, 43)	3.43^{+}	0.07	—	—	6.55^{*}	0.13	—	—	—	—	—	—
相关类型×兴趣区(8, 344)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.71^{**}	0.14
重复次数×兴趣区(8, 344)	—	—	—	—	3.75^{*}	0.08	3.22^{*}	0.07	—	—	3.39^{*}	0.07
相关类型×重复次数(1, 43)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
相关类型×重复次数×兴趣区(8, 344)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：**表示 $p < 0.01$, *表示 $0.01 < p < 0.05$, $^{+}$表示 $0.05 < p < 0.1$, —表示 $p > 0.1$，双尾检验

表 3　200~600 ms 时间窗内不同兴趣区的语义效应

时间窗口	左前区		中前区		右前区		左中区		中中区		右中区		左后区		中后区		右后区	
	F	η_p^2	F	η_p^2	F	η_p^2	F	η_p^2	F	η_p^2	F	η_p^2	F	η_p^2	F	η_p^2	F	η_p^2
SOA = −400 ms																		
200~300 ms	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
300~400 ms	—	—	5.86^{*}	0.12	7.85^{*}	0.15	3.56^{+}	0.08	10.61^{**}	0.20	10.48^{**}	0.20	13.66^{**}	0.24	14.33^{**}	0.25	17.93^{**}	0.29
500~600 ms	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.56^{+}	0.11	6.66^{+}	0.13	9.75^{*}	0.19
SOA = 0 ms																		
500~600 ms	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7.29^{*}	0.15	14.98^{**}	0.26	11.49^{**}	0.21	12.58^{**}	0.23

注：**表示 $p < 0.01$, *表示 $0.01 < p < 0.05$, $^{+}$表示 $0.05 < p < 0.1$, —表示 $p > 0.1$，双尾检验, p 值经过 FDR 校正。

现为语义无关条件下的平均波幅比无关条件下更正；同时相关类型和兴趣区的交互作用显著，同样表现为语义无关条件下的平均波幅比无关条件下更正(见表 3)。

3.2.2　基于簇的置换检验结果

针对语义效应(即比较语义相关与无关干扰词两种条件)所进行的基于簇的置换检验结果显示，当 SOA 为−400 ms 时，在第一次呈现时的 284~390 ms (p = 0.04)和第二次呈现时的 274~382 ms (p = 0.01)时间窗内发现两条件间差异，表现为语义相关条件的波形比无关条件更正；与此同时，在第一次呈现时的 0~76 ms 时间窗内发现两条件间差异(p = 0.08)，但与前一晚期时间窗内的语义效应方向相反，表现为语义相关条件的波形比无关条件更负。当 SOA 为 0 ms 时，在第一次呈现时的 344~414 ms (p = 0.03)和第二次呈现时的 356~418 ms (p = 0.06)时间窗内发现两条件间差异，表现为语义相关条件的波形比无关条件更正；与此同时，在第一次呈现时的 462~594 ms (p < 0.001)和第二次呈现时的 460~544 ms (p = 0.09)时间窗内发现方向相反的两条件间差异，表现为语义相关条件的波形比无关条件更负。

4　讨论

本研究采用 PWI 任务，改变干扰词和目标图画之间的时间间隔，同时利用高时间分辨率的脑电技术，考察了口语词汇产生过程中语义效应(语义相关减去语义无关)激活的时间进程。行为结果显示：当 SOA 为 0 ms 时，反应时上表现出典型的语义抑制效应，语义相关条件下图画命名的反应时慢于语义无关条件。当 SOA 为−400 ms 时，未表现出显著的语义效应。ERP 结果表明，当 SOA 为 0 ms 时，在两个时间窗口(200~400 ms 和 500~600 ms)均发现了显著或边缘显著(0.05 < p < 0.1)的语义效应；当 SOA 为−400 ms 时，重复次数影响了语义效应达

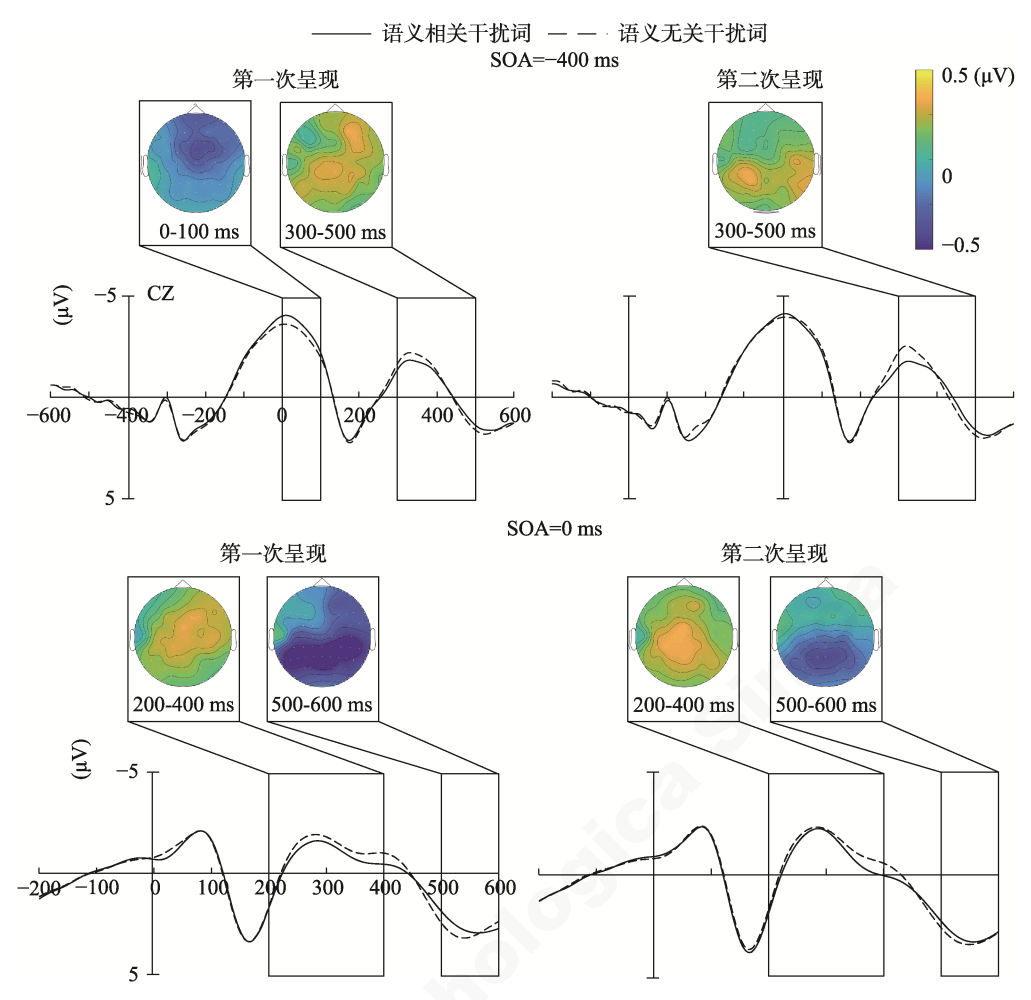


图 3 SOA 为−400 ms 和 0 ms 时中中兴趣区上的平均波幅图和相应时间窗的差异波(语义相关−无关)地形分布图(方框代表平均波幅分析中语义效应显著或边缘显著的时间窗)

到显著或边缘显著的时间窗：第一次呈现时，在早期时间窗口(0~100 ms)和晚期时间窗口(300~600 ms)都发现了语义效应，而第二次呈现时，仅在晚期时间窗口中发现了语义效应。置换检验的结果进一步确定了语义效应显著差异精确的时间窗口和电极，结果显示：当 SOA 为 0 ms 时，第一次呈现时在晚期时间窗口(344~414 ms 和 462~594 ms)以及第二次呈现时在晚期时间窗口(356~418 ms 和 460~544 ms)均出现了显著或边缘显著的语义效应；当 SOA 为−400 ms，第一次呈现时在早期时间窗口(0~76 ms)和晚期时间窗口(284~390 ms)以及第二次呈现时在晚期时间窗口(274~382 ms)均出现了语义效应。上述发现表明语义范畴相关条件在 SOA 为−400 ms 时，会在概念准备和词汇选择两个阶段影响口语词汇产生过程，而当 SOA 为 0 ms 时，主要是在词汇选择阶段影响了词汇产生过程。

4.1 语义抑制效应和语义促进效应

当 SOA 为 0 ms 时，反应时上的语义抑制效应在第一次呈现和第二次呈现中都是显著的，且第二次呈现时的语义抑制效应小于第一次。词汇选择说和反应排除说都可以解释语义抑制效应。Miozzo 和 Caramazza (2003)在 PWI 任务中重复呈现每一对干扰词−目标图五次，发现尽管每次呈现时的语义抑制效应均显著，但重复次数会减小这一效应的大小。Bürki 等(2020)在对语义抑制效应的潜在影响因素进行了贝叶斯元分析后发现，重复次数会减弱语义抑制效应的大小。

与上述模式不同，SOA 为−400 ms 时无显著的语义效应。Zhang 等(2016)研究中的实验 3 发现了 SOA 为−400 ms 时的语义促进效应，两个研究结果不一致。Zhang 等研究中所发现的语义促进效应大小为 15 ms，效果量为 Cohen d = 0.23，是一个很小的效应量。与本研究所计算出的贝叶斯因子等于 0.04 的结果一致。因此，我们认为 SOA 为−400 ms 时的语义效应是不稳定的，这可能与−400 ms 处于语义效应方向转换的临界点有关。Zhang 等(2016)

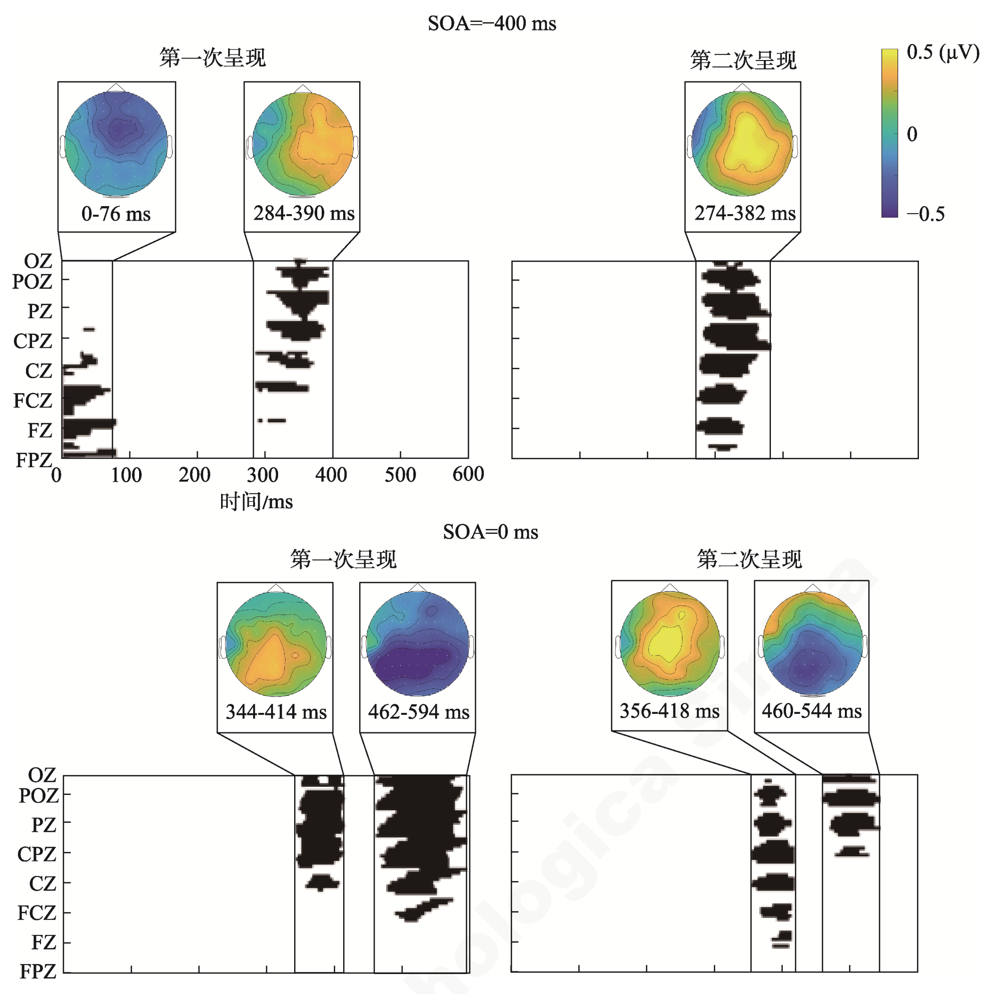


图 4　SOA 为−400 ms 和 0 ms 时两次呈现语义效应的置换检验结果和对应窗口内的地形分布图

在实验 2 中比较了 SOA 为−1000 ms、−800 ms、−600 ms 和−400 ms 的语义效应，发现 SOA 为−400 ms 时的语义促进效应最小，其余三种条件下均产生了较大的语义促进效应。与 SOA 为 0 ms 时的语义抑制效应相比，SOA 为−400 ms 时则为语义促进效应，表明−400 ms 的 SOA 可能是语义效应方向的转折点。已有研究也表明这一 SOA 下的语义促进效应不是稳定地出现的(Bürki et al., 2020)。Bürki 等(2020)对口语词汇产生中语义效应行为结果的元分析表明，当干扰词先于图画呈现较长时间(> 160 ms)时，语义抑制效应会消失，间接支持语义抑制效应是在负 SOA 下转为促进效应，但具体 SOA 仍不确定。

4.2　语义抑制效应和语义促进效应的时间进程

如前所述，词汇竞争说和反应排除说分别预期语义抑制效应会发生在口语词汇产生的词汇选择(较早的时间窗口：400 ms 之前)和反应输出阶段(较晚的时间窗口：450 ms 之后)。根据概念选择模型的观点，预期语义促进效应出现在概念准备阶段(175 ms 之前)，早于词汇选择阶段。

本研究的 ERP 波幅在两个 SOA 条件下都发现了显著的语义效应，出现在图画呈现后的 250~420 ms 左右，主要表现为语义无关条件的平均波幅大于语义相关条件，其差异模式与已有汉语口语词汇产生中语义效应的 ERP 研究一致(Ouyang et al., 2019; Zhu et al., 2015)。所发生的时间窗口与已有词汇选择阶段的起始时间点相当，都发生在 200~250 ms 左右(Costa et al., 2009; Indefrey, 2011; Indefrey & Levelt, 2004; Maess et al., 2002; Ouyang et al., 2019; Piai et al., 2012; Zhu et al., 2015)。Costa 等(2009)的 ERP 研究中发现语义抑制效应在图画呈现后大约 208 ms 时出现并持续了 180 ms，Piai 等(2012)提出 250 ms 是词汇选择阶段的起始点。因此，我们认为这一阶段的语义效应反映了词汇选择阶段词汇水平上的竞争，与语义抑制效应的出现密切相关，为词汇竞争说提供了支持证据。

与 SOA = 0 ms 条件相比，当 SOA = −400 ms 时干扰词对口语词汇产生过程中词汇选择阶段的

影响出现得更早，具体表现为语义效应的起始点早了大约 60~80 ms (见图 4)。这与概念选择模型的观点不一致，概念选择模型假设词汇水平的激活会迅速地出现衰退，而概念水平的激活会持续较长的时间，因而在干扰词先于图画较长时间(> 160 ms) (Bürki et al., 2020)出现时，不会出现语义抑制效应。概念选择模型主要是基于行为结果提出的，本研究中脑电分析的结果第一次清晰地表明词汇水平的激活也会持续较长时间，对词汇选择阶段产生影响。两次重复都有语义效应出现，且出现的时间窗口一致，表明重复次数不会影响词汇水平的加工。在两次重复中，人们的图画命名潜伏期缩短了，然而词汇选择的起始点并未出现显著的变化，表明口语词汇产生中的词汇选择过程并不会随着反应时的缩短而提早进行加工。我们的研究结果与 Laganaro 等(2012)的研究结论不一致。Laganaro 等要求被试完成图画命名任务，然后根据反应时长短将被试分成了快慢两组，通过时空微态分割分析他们发现这两类被试在词汇选择阶段的时间长短存在差异，因而研究者认为反应时长短影响了词汇选择的时间。但是，需要注意的是 Laganaro 等比较的是两组不同的被试，他们本身的词汇选择时间存在差异，而在我们的研究中针对的是同一组被试，词汇选择的时间是长期学习形成的，受到语言学变量如词频等的影响，在无时间压力的情况下，重复次数并不会对词汇选择产生影响。我们猜测反应时的缩短更多地来自于后词汇水平加工阶段，比如由于重复地发音引起的语音编码阶段的缩短。下一步的研究中可以采用 ERP 技术结合时空微态分割分析对此进行考察。

当 SOA 为 0 ms 时，PWI 任务中第一次呈现图画时的 462~594 ms 之间出现了显著的语义效应，表现为语义相关条件的波幅小于语义无关条件，但是这一效应的时间窗在第二次呈现时缩小，出现在呈现目标图后的 460~544 ms；而且当 SOA 为−400 ms 时也未在词汇选择之后出现这一效应。这一时间窗口对应于汉语口语词汇产生中的音韵编码阶段 (Zhu et al., 2015)，为什么这一阶段受到了语义相关因素的影响？如果波形的显著差异反映了语义因素对音韵编码阶段的影响，那我们预期在 SOA 为−400 ms 时也应该发现这一效应，因为研究者认为从心理词典中提取词汇语义及其音韵信息的过程一般不会受到重复次数的影响，而应该保持稳定 (Levelt et al., 1999)。一方面，我们认为这一效应不可能是词汇选择阶段语义效应的延续，首先，其波形差异的模式与词汇选择阶段的语义效应完全不同，表明这是一个完全不同的加工过程；第二，其时间窗口与词汇选择阶段的语义效应窗口是分开的，并不是连续出现的，间隔了 50 ms 左右的时间。另一方面，这一效应也不可能发生在反应排除阶段。实验中被试的平均行为反应时为 800 ms 左右，462~594 ms 之间的时间窗口不可能对应于后词汇水平语音输出阶段的加工。Janssen 等(2015)的研究为反应排除理论提供了证据，他们所发现的后词汇水平的语义效应出现在图画呈现后的 500~750 ms 之间。

基于已有的研究发现，我们认为这一波形可能反映了人们在语义选择之后对词汇水平上所提取语义信息的自我监测。与目标图存在语义相关的信息其监测难度要大于语义无关信息，因而表现出与词汇选择阶段不同的波幅差异模式。在第二次呈现时，由于重复引起监测难度降低，对于语义相关和无关信息的自我监测所存在的差异缩小。当 SOA 为−400 ms 时，语义相关和无关干扰词的激活差异可能随着时间有所减弱，在自我监测这一机制上也并未产生差异。自我监测机制是口语词汇产生中用于防止被试出现口语错误的机制，研究者认为这一监测机制从词汇选择阶段一直到发音输出都存在 (Levelt et al., 1999)。采用音素重复任务，Qu 等(2012)在有关音韵编码中音素激活的研究中发现，对于音素的监测即发生在音素激活(200~300 ms)后的 300~400 ms 时间窗口内。这一效应仍然需要实验重复验证是否能够稳定地存在。

处于概念准备阶段(0~175 ms) (Indefrey, 2011; Indefrey & Levelt, 2004)的语义效应仅仅出现在 SOA 为−400 ms 的条件下，这反映了语义相关性对口语词汇产生中概念准备阶段的影响。表明当干扰词先于图画 400 ms 呈现时，干扰词的激活影响了口语词汇产生中的概念准备阶段，语义相关词产生的促进效应表现为语义相关条件下的波幅大于语义无关条件，其波幅差异的模式与 Ouyang 等(2019)的发现类似。Ouyang 等的研究中操纵了词汇群大小和语义相关性(范畴相关)，ERP 分析发现在 100~200 ms 时间窗口内，语义相关条件的波幅大于语义无关，且大的词汇群所引发的波形大于小的词汇群，两个研究一致地表明在概念准备阶段，概念激活越强，所引发的 ERP 波幅越高。在第二次呈现时，概念阶段的语义效应消失。讲话者对已经出

现过的图画概念水平的加工更为快速，概念准备阶段所产生的语义促进效应较微弱，随着反应时的加快这一效应消失。本研究发现重复次数影响了口语产生中的概念准备阶段。

需要注意的是，平均波幅的方差分析和置换检验的结果均指向早期语义效应发生在 0~100 ms 时间窗内，这比已有研究的发生时间(100~200 ms)要早(Ouyang et al., 2019)，发生在概念准备阶段。Thorpe 等(1996)的研究中发现即使仅仅呈现图片刺激 20 ms，人们就能快速知觉到图片中所呈现的信息并进行加工。当 SOA 为−400 ms 时，目标图呈现的时间点作为零点叠加波形，在此之前干扰词已经呈现了 400 ms，其相应的词汇和概念均得到了激活。当目标图呈现后，由于人类视觉系统加工的快速性，立刻对目标图画命名的概念准备阶段产生了影响。更进一步，当 SOA 为−400 ms 时，语义效应第一次呈现时出现在早期和晚期时间窗内平均波幅的方向出现了反转：在早期窗口表现为语义相关高于无关，而在晚期窗口表现为语义无关高于相关。行为反应时是已有过程包括了概念准备、词汇选择和反应输出等一系列加工阶段实时加工后的结果，我们认为脑电在早期和晚期时间窗口内模式的反转可能造成了效应的抵消，因而在反应时上未表现出显著的效应。

综上，本研究利用 PWI 任务结合脑电技术，考察了不同 SOA 条件下口语词汇产生过程中语义效应发生的时间进程。研究结果显示，SOA 为 0 ms 时，主要发现了词汇选择阶段的语义抑制效应，行为结果上表现为语义抑制效应。SOA 为−400 ms 时存在概念准备阶段的语义促进效应和词汇选择阶段的语义抑制效应，两个效应的抵消平衡使得行为上没有表现出语义效应。研究结果支持了词汇竞争假说的观点，而且研究发现第一次清晰地表明词汇产生中确实存在语义促进效应和语义抑制效应的权衡，影响了行为结果中语义效应的最终方向。

参 考 文 献

Bloem, I., & La Heij, W. (2003). Semantic facilitation and semantic interference in word translation: Implications for models of lexical access in language production. *Journal of Memory and Language, 48*(3), 468−488. doi: 10.1016/S0749-596X(02)00503-X

Bloem, I., van den Boogaard, S., & La Heij, W. (2004). Semantic facilitation and semantic interference in language production: Further evidence for the conceptual selection model of lexical access. *Journal of Memory & Language, 51*(2), 307−323. doi: 10.1016/j.jml.2004.05.001

Bürki, A., Elbuy, S., Madec, S., & Vasishth, S. (2020). What did we learn from forty years of research on semantic interference? A Bayesian meta-analysis. *Journal of Memory and Language, 114*, 104−125. doi:10.1016/j.jml.2020.104125

Costa, A., Strijkers, K., Martin, C. D., & Thierry, G. (2009). The time course of word retrieval revealed by event-related brain potentials during overt speech. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 106*(50), 21442−21446. doi:10.1073/pnas.0908921106

Dell'Acqua, R., Sessa, P., Peressotti, F., Mulatti, C., Navarrete, E., & Grainger, J. (2010). ERP evidence for ultra-fast semantic processing in the picture-word interference paradigm. *Frontiers in Psychology, 1*, 177. doi: 10.3389/fpsyg.2010.00177

Dhooge, E., de Baene, W., & Hartsuiker, R. (2013). A late locus of the distractor frequency effect in picture−word interference: Evidence from event-related potentials. *Brain and Language, 124*(3), 232−237. doi: 10.1016/j.bandl.2012.12.005

Dhooge, E., & Hartsuiker, R. J. (2010). The distractor frequency effect in picture-word interference: Evidence for response exclusion hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 36*(4), 878−891. doi: 10.1037/a0019128

Feng, C., Markus, F., Damian, & Qu, Q. (2021). Parallel processing of semantics and phonology in spoken production: Evidence from blocked cyclic picture naming and EEG. *Journal of Cognitive Neuroscience, 33*(4), 725−738. doi: 10.1162/jocn_a_01675

Finkbeiner, M., & Caramazza, A. (2006). Now you see it, now you don't: On turning semantic interference into facilitation in a Stroop-like task. *Cortex, 42*(6), 790−796. doi: 10.1016/s0010-9452(08)70419-2

Glaser, W. R., & Düngelhoff, F.-J. (1984). The time course of picture-word interference. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 10*(5), 640−654. doi: 10.1037/0096-1523.10.5.640

Hu, L., Mouraux, A., Hu, Y., & Iannetti, G. (2010). A novel approach for enhancing the signal-to-noise ratio and detecting automatically event-related potentials (ERPs) in single trials. *NeuroImage, 50*(1), 99−111. doi: 10.1016/j.neuroimage.2009.12.010

Indefrey, P. (2011). The spatial and temporal signatures of word production components: A critical update. *Frontiers in Psychology, 2*(255), 1−16. doi: 10.3389/fpsyg.2011.00255

Indefrey, P., & Levelt, W. J. (2004). The spatial and temporal signatures of word production components. *Cognition, 92*(1-2), 101−144. doi: 10.1016/j.cognition.2002.06.001

Janssen, N., Hernández-Cabrera, J., van der Meij, M., & Barber, H. (2015). Tracking the time course of competition during word production: Evidence for a post-retrieval mechanism of conflict resolution. *Cerebral Cortex, 25*(9), 2960−2969. doi: 10.1093/cercor/bhu092

Janssen, N., Schirm, W., Mahon, B. Z., & Caramazza, A. (2008). Semantic interference in a delayed naming task: Evidence for the response exclusion hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 34*(1), 249−256. doi: 10.1037/0278-7393.34.1.249

Jefferys, H. (1961). Theory of probability. New York, NY: Oxford University Press.

Laganaro, M., Valente, A., & Perret, C. (2012). Time course of word production in fast and slow speakers: A high density ERP topographic study. *Neuroimage, 59*(4), 3881−3888. doi: 10.1016/j.neuroimage.2011.10.082

La Heij, W. (1988). Components of Stroop-like interference in

picture naming. *Memory & Cognition, 16*(5), 400−410. doi: 10.3758/bf03214220

La Heij, W., Dirkx, J., & Kramer, P. (1990). Categorical interference and associative priming in picture naming. *British Journal of Psychology, 81*(4), 511−525. doi: 10.1111/j.2044-8295.1990.tb02376.x

Levelt, W. J. M., Roelofs, A., & Meyer, A. S. (1999). A theory of lexical access in speech production. *Behavioral and Brain Sciences, 22*(1), 1−75. doi: 10.1017/S0140525X99001776

Lupker, S. J. (1979). The semantic nature of response competition in the picture-word interference task. *Memory and Cognition, 7*(6), 485−495. doi: 10.3758/BF03198265

Maess, B., Friederici, A., Damian, M., Meyer, A., & Levelt, W. (2002). Semantic category interference in overt picture naming: Sharpening current density localization by PCA. *Journal of Cognitive Neuroscience, 14*(3), 455−462. doi: 10.1162/089892902317361967

Mahon, B. Z., Costa, A., Peterson, R., Vargas, K. A., & Caramazza, A. (2007). Lexical selection is not by competition: A reinterpretation of semantic interference and facilitation effects in the picture-word interference paradigm. *Journal of Experimental Psychology, 33*(3), 503−535. doi: 10.1037/0278-7393.33.3.503

Maris, E., & Oostenveld, R. (2007). Nonparametric statistical testing of EEG- and MEG-data. *Journal of Neuroscience Methods, 164*(1), 177−190. doi: 10.1016/j.jneumeth.2007.03.024

Miozzo, M., & Caramazza, A. (2003). When more is less: A counterintuitive effect of distractor frequency in the picture-word interference paradigm. *Journal of Experimental Psychology: General, 132*(2), 228−252. doi: 10.1037/0096-3445.132.2.228

Ouyang, M., Cai, X., & Zhang, Q. (2019). The effect of lexical cohort size is independent of semantic context effects in a picture-word interference task: A combined ERP and sLORETA study. *Frontiers in Human Neuroscience, 13*. doi: 10.3389/fnhum.2019.00439

Piai, V., Roelofs, A., & van der Meij, R. (2012). Event-related potentials and oscillatory brain responses associated with semantic and Stroop-like interference effects in overt naming. *Brain Research, 1450*, 87−101. doi: 10.1016/j.brainres.2012.02.050

Python, G., Fargier, R., & Laganaro, M. (2018). When Wine and Apple both help the production of Grapes: ERP evidence for post-lexical semantic facilitation in picture naming. *Frontiers in Human Neuroscience, 12*. doi: 10.3389/fnhum.2018.00136

Qu, Q. Q., Damian, M. F., & Kazanina, N. (2012). Sound-sized segments are significant for Mandarin speakers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 109*(35), 14265−14270. doi: 10.1073/pnas.1200632109

Roelofs, A. (1992). A spreading-activation theory of lemma retrieval in speaking. *Cognition, 42*(1), 107−142. doi: 10.1016/0010-0277(92)90041-f

Rose, S. B., & Abdel Rahman, R. (2017). Semantic similarity promotes interference in the continuous naming paradigm: Behavioural and electrophysiological evidence. *Language, Cognition and Neuroscience, 32*(1), 55−68. doi: 10.1080/23273798.2016.1212081

Sailor, K., Brooks, P. J., Bruening, P. R., Seiger- Gardner, L., & Guterman, M. (2009). Exploring the time course of semantic interference and associative priming in the picture-word interference task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 62*(4), 789−801. doi: 10.1080/17470210802254383

Schriefers, H., Meyer, A. S., & Levelt, W. J. M. (1990). Exploring the time course of lexical access in language production: Picture-word interference studies. *Journal of Memory and Language, 29*(1), 86−102. doi: 10.1016/0749-596X(90)90011-N

Starreveld, P. A., & La Heij, W. (1996). Time-course analysis of semantic and orthographic context effects in picture naming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 22*(4), 896−918. doi: 10.1037/0278-7393.22.4.896

Strijkers, K., & Costa, A. (2011). Riding the lexical speedway: A critical review on the time course of lexical selection in speech production. *Frontiers in Psychology, 2*. doi: 10.3389/fpsyg.2011.00356

Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology, 18(6)*, 643−662. doi: 10.1037/h0054651

Thorpe, S., Fize, D., & Marlot, C. (1996). Speed of processing in the human visual system. *Nature, 381*(6582), 520−522. doi: 10.1038/381520a0

Wang, L., Bastiaansen, M., Yang, Y., & Hagoort, P. (2011). The influence of information structure on the depth of semantic processing: How focus and pitch accent determine the size of the N400 effect. *Neuropsychologia, 49*(5), 813−820. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2010.12.035

Wong, A., Chiu, H., Wang, J., Cao, J., Wong, S., & Chen, H. (2017). An early locus of associative and categorical context effects in speech production: Evidence from an ERP study using the picture-word interference paradigm. *Language, Cognition and Neuroscience, 32*(10), 1305−1319. doi: 10.1080/23273798.2017.1355060

Yekutieli, D., & Benjamini, Y. (1999). Resampling-based false discovery rate controlling multiple test procedures for correlated test statistics. *Journal of Statistical Planning and Inference, 82*(1-2), 171−196. doi: 10.1016/S0378-3758(99)00041-5

Zhang, Q., Feng, C., Zhu, X., & Wang, C. (2016). Transforming semantic interference into facilitation in a picture−word interference task. *Applied Psycholinguistics, 37*(5), 1025−1049. doi: 10.1017/S014271641500034X

Zhang, Q. F., & Yang, Y. F. (2003). The determiners of picture-naming latency. *Acta Psychologica Sinica, 35*(4), 447−454.

[张清芳, 杨玉芳. (2003). 影响图画命名时间的因素. *心理学报, 35*(4), 447−454.]

Zhang, Q. F., & Zhu, X. B. (2011). The temporal and spatial features of segmental and suprasegmental encoding during implicit picture naming: An event-related potential study. *Neuropsychologia, 49*(14), 3813−382. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2011.09.040

Zhu, X. B., Damian, M. F., & Zhang, Q. F. (2015). Seriality of semantic and phonological processes during overt speech in Mandarin as revealed by event-related brain potentials. *Brain and Language, 144*, 16−25. doi: 10.1016/j.bandl.2015.03.007

The influence of stimulus onset asynchrony on semantic effect in spoken word production: A picture-word interference paradigm study

ZHOU Yuxi, LIU Yuhao, ZHANG Qingfang

(*Department of Psychology, Renmin University of China, Beijing* 100872, *China*)

Abstract

A controversial in word production is that how speakers retrieve words from the mental lexicon. The picture-word interference (hereafter PWI) paradigm has been broadly used to investigate this issue. In this task, speakers are instructed to name pictures while ignoring written distractor words superimposed onto the pictures. A typical finding is the semantic interference effect, which is that categorically related distractors (e.g., bus) slow down picture naming (e.g., car) relative to unrelated distractors (e.g., pen). By varying stimulus onset asynchrony (SOA) between pictures and distractors, studies have reported semantic facilitation effect when semantically related distractors were presented before pictures such as 400 ms (−400 ms), and semantic interference effect when semantically related distractors were presented closely to pictures. Lexical competition hypothesis assumes that semantic interference reflects the lexical selection competition among co-activated semantically related lexical representations during lemma retrieval, while response exclusion hypothesis assumes that semantically related distractors are more difficult to exclude from the response buffer than unrelated ones. It assumes that semantic facilitation effect arises at the conceptual processing. However, little is known about the temporal courses of both effects. The present study aims to examine the influence of SOA on semantic effect with the PWI task using electrophysiological measures.

Forty-five undergraduate and graduate students participate in the experiment (22 males, average 22.85 years). Forty-two black and white line pictures were chosen from a standardized picture database as targets with disyllabic names. Each target picture was paired with a semantically related distractor word and an unrelated distractor word. Context words in the semantically related condition were then recombined with the picture names to form unrelated conditions. Target pictures and context words are basic-level concepts selected from 14 semantic categories. The experimental design included relatedness (semantically related vs. semantically unrelated), SOA (−400 vs. 0 ms) and repetition (first vs. second) as within-participants factors.

Behavioral results indicated a typical semantic interference effect at SOA of 0 ms while the semantic effect was absent at SOA of −400 ms. Electrophysiological results showed that at SOA of 0 ms semantically related distractors elicited a smaller modulated waveform than unrelated ones in the time window of 344~414 ms in the first repetition and 356~418 ms in the second repetition. There was a larger waveform in the semantically related distractors than unrelated ones in the time window of 462~594 ms in the first repetition and 460~544 ms in the second repetition. At SOA of −400 ms, results showed an early semantic effect in the time window of 0~76 ms in the first repetition but disappeared in the second repetition, and a late semantic effect in the time window of 284~390 ms in the first repetition and 274~382 ms in the second repetition.

In sum, the present findings indicated that there is a semantic facilitation effect arising at the conceptual processing (0~200 ms) and a semantic interference effect arising at the lexical selection stage (250~450 ms) in Chinese spoken word production. Our findings firstly provide evidence for lexical competition hypothesis rather than response exclusion hypothesis. Furthermore, with high-time resolution measures, we firstly provide electrophysiological evidence for the trade-off of semantic facilitation and interference effect in spoken word production.

Key words spoken word production, semantic interference effect, semantic facilitation effect, stimulus onset asynchrony (SOA), lexical competition hypothesis

附录：材料

类别	目标图	语义相关干扰词	语义无关干扰词
乐器	吉他(/ji2ta/, guitar)	圆号(/yuan2hao4/, trumpet)	钳子(/qian2zi/, plier)
	竖琴(/shu4qin2/, harp)	长笛(/chang2di2/, flute)	西瓜(/xi1gua1/, watermelon)
	钢琴(/gang1qin2/, piano)	二胡(/er4hu2/, two-stringed Chinese fiddle)	夹克(/jia2ke4/), jacket)
水果	苹果(/ping2guo3/, apple)	桔子(/ju2zi/, orange)	书架(/shu1jia4/, bookshelf)
	香蕉(/xiang1jiao1/, banana)	柠檬(/ning2meng2/, lemon)	摩托(/mo2tuo1/, motorbike)
	菠萝(/bo1luo2/, pineapple)	西瓜(/xi1gua1/, watermelon)	圆号(/yuan2hao4/, trumpet)
工具	斧头(/fu3tou2/, axe)	扳手(/ban1shou3/, wrench)	吊坠(/diao4zhui4/, pendant)
	剪刀(/jian3dao1/, scissors)	钳子(/qian2zi/, plier)	土豆(/tu3dou4/, potato)
	锤子(/chui2zi/, hammer)	电钻(/dian4zuan4/, drill)	鲸鱼(/jing1yu2/, whale)
服装	裙子(/qun2zi/, dress)	夹克(/jia2ke4/, jacket)	麻雀(/ma2que4/, sparrow)
	裤子(/ku4zi/, pants)	背心(/bei4xin1/, waistcoat)	坦克(/tan3ke4/, tank)
	衬衫(/chen4shan1/, shirt)	毛衣(/mao2yi1/, sweater)	积木(/ji1mu4/, block)
家具	椅子(/yi3zi/, chair)	书架(/shu1jia4/, bookshelf)	手掌(/shou3zhang3/, palm)
	沙发(/sha1fa1/, sofa)	柜子(/gui4zi/, cabinet)	鲸鱼(/jing1yu2/, whale)
	桌子(/zhuo1zi/, table)	茶几(/cha2ji1/, tea table)	匕首(/bi4shou3/, dagger)
交通工具	飞机(/fei1ji1/, airplane)	雪橇(/xue3qiao1/, sled)	书包(/shu1bao1/, school bag)
	汽车(/qi4che1/, car)	摩托(/mo2tuo1/, motorcycle)	胸针(/xiong1zhen1/, brooch)
	火车(huo3che1/, train)	帆船(/fan1chuan2/, sailing boat)	鼻子(/bi2zi/, nose)
禽类	鸭子(/ya1zi/, duck)	麻雀(/ma2que4/, sparrow)	拼图(/pin1tu2/, puzzle)
	孔雀(/kong3que4/, peacock)	燕子(/yan4zi/, swallow)	扳手(/ban1shou3/, wrench)
	企鹅(/qi3e2/, penguin)	大雁(/da4yan4/, wild migratory goose)	背心(/bei4xin1/, waistcoat)
蔬菜	茄子(/qie2zi/, aubergine)	土豆(/tu3dou4/, potato)	电钻(/dian4zuan4/, drill)
	芹菜(/qin2cai4/, celery)	黄瓜(/huang2gua1/, cucumber)	弓箭(/gong1jian4/, bow and arrow)
	玉米(/yu4mi3/, corn)	辣椒(/la4jiao1/, pepper)	嘴唇(/zui3chun2/, lips)
武器	炸弹(/zha4dan4/, bomb)	坦克(/tan3ke4/, tank)	长笛(/chang2di2/, flute)
	大炮(/da4pao4/, cannon)	匕首(/bi4shou3/, dagger)	桔子(/ju2zi/, orange)
	手枪(/shou3qiang1/, pistol)	弓箭(/gong1jian4/, bow and arrow)	圆规(/yuan2gui1/, compasses)
玩具	皮球(/pi2qiu2/, ball)	积木(/ji1mu4/, block)	柜子(/gui4zi/, cabinet)
	气球(/qi4qiu2/, balloon)	拼图(/pin1tu2/, puzzle)	图钉(/tu2ding1/, drawing pin)
	秋千(/qiu1qian1/, swing)	滑梯(/hua2ti1/, slide)	豹子(/bao4zi/, leopard)
身体器官	胳膊(/ge1bo/, arm)	手掌(/shou3zhang3/, palm)	柠檬(/ning2meng2/, lemon)
	眼睛(/yan3jing1/, eye)	鼻子(/bi2zi/, nose)	茶几(/cha2ji1/, tea table)
	肩膀(/jian1bang3/, shoulder)	嘴唇(/zui3chun2/, lips)	雪橇(/xue3qiao1/, sled)
饰品	项链(/xiang4lian4/, necklace)	吊坠(/diao4zhui4/, pendant)	帆船(/fan1chuan2/, sailing boat)
	戒指(/jie4zhi3/, ring)	耳环(/er3huan2/, earrings)	大雁(/da4yan4/, wild migratory goose)
	手表(/shou3biao3/, watch)	胸针(/xiong1zhen1/, brooch)	黄瓜(/huang2gua1/, cucumber)
文具	铅笔(/qian1bi3/, pencil)	书包(/shu1bao1/, school bag)	耳环(/er3huan2/, earrings)
	尺子(/chi3zi/, ruler)	图钉(/tu2ding1/, drawing pin)	辣椒(/la4jiao1/, pepper)
	橡皮(/xiang4pi2/, rubber)	圆规(/yuan2gui1/, compasses)	燕子(/yan4zi/, swallow)
哺乳动物	老虎(/lao3hu3/, tiger)	鲸鱼(/jing1yu2/, whale)	滑梯(/hua2ti1/, slide)
	大象(/da4xiang4/, elephant)	骆驼(/luo4tuo1/, camel)	毛衣(/mao2yi1/, sweater)
	河马(/he2ma3/, hippopotamus)	豹子(/bao4zi/, leopard)	二胡(/er4hu2/, two-stringed Chinese fiddle)